
ULTRAHIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE (UHMWPE): Polietilena Berberat Molekul Tertinggi : Ciri dan Pemprosesan Sebuah Kajian Awal

HANIZAM SULAIMAN
Kumpulan Penyelidikan Kejuruteraan Polimer
Fakulti Kejuruteraan Kimia & Kejuruteraan Sumber Asli
UTM, Kuala Lumpur

Abstrak

Polietilena berberat molekul tertinggi adalah satu polimer yang mempunyai darjah pempolimeran yang sangat tinggi yang dihasilkan dengan kaedah pemprosesan tekanan-rendah Ziegler terubahsuai. Polimer ini mempunyai pekali geseran yang rendah dan kekuatan hentaman yang tinggi. Bahan dari polimer ini banyak digunakan di industri-industri perlombongan, pembotolan minuman dan perubatan. Pemprosesan polimer ini lazimnya terhad kepada acuan mampatan dan penyempitan lantak. Bagaimanapun, seperti yang ditunjukkan dalam pemerhatian awal kaji selidik yang sedang dijalankan di UTM ini, pemprosesan dengan menggunakan penyuntik skru yang lazim besar kemungkinan dapat dijalankan.

PENDAHULUAN

Sejarah penemuan polietilena berberat molekul tertinggi (ultra high molecular weight (UHMWPE)) ini adalah sebenarnya bermula lebih 30 tahun yang lalu apabila Karl Ziegler menemui satu kaedah pempolimeran etilena tekanan-rendah menggunakan satu mangkin organologam, yang lebih dikenali sekarang hanya dengan panggilan Mangkin Ziegler. Rantainya molekul UHMWPE yang sangat panjang (berat molekul lebih dari 3×10^6) membuatkan polimer ini sangat sukar untuk diproses atau diacu dengan kaedah yang lazim bagi kebanyakan pemprosesan polimer yang lain⁽¹⁾.

Antara hasil barangan pertama UHMWPE ialah kepingan-kepingan plastik yang dihasilkan dengan kaedah acuan mampatan. Kepingan-kepingan ini akan dibentuk kepada barangan plastik sebagaimana tukang kayu membuat barangan dari bahan kayu. Ini adalah kaedah awal barangan dari UHMWPE ini diperolehi⁽¹⁾. Sifat-sifat UHMWPE yang unik dan lebih baik dari polietilena yang mempunyai berat molekul yang rendah menyebabkan bahan ini mempunyai potensi yang baik untuk diperkembangkan penggunaannya.

Satu kaedah atau cara pemprosesan barangan dari UHMWPE yang lebih ekonomik adalah perlu memandangkan keperluan-keperluan bahan ganti untuk peralatan dan barangan yang memerlukan ciri-ciri ketahanan yang hanya dipunyai oleh UHMWPE semakin meningkat, seperti di industri kimia, makanan, perlombongan logam dan batu arang, industri kertas, pengangkutan, perubatan dan sebagainya⁽²⁾.

Dalam kaji selidik yang sedang dijalankan di Universiti Teknologi Malaysia, teknik pemprosesan pengacuan suntikan dan penyempitan lantak dikaji akan kebolehananya memproses UHMWPE. Kesan pemprosesan ke atas sifat barangan hasil UHMWPE ini juga diberi keutamaan dalam penyelidikan ini.

Untuk kaji selidik ini, resin UHMWPE gred 1900 yang dihasilkan oleh HIMONT, USA digunakan. Gred ini adalah serbuk polimer tanpa sebarang bahan tambahan.

SIFAT-SIFAT UHMWPE

Kombinasi sifat-sifat UHMWPE yang sangat baik membolehkan bahan ini mampu bersaing dengan termoplastik kejuruteraan yang lain. Selain dari sifat-sifat tidak rekat permukaannya, pemalar geserannya yang rendah dan ketahanan kimianya yang baik, barangan UHMWPE juga menunjukkan sifat-sifat ketahanan lelasan dan hentaman yang tinggi, bersaing dengan termoplastik kejuruteraan seperti politetrafloroetilena (PTFE) dan poliamida.

UHMWPE adalah satu polimer yang mempunyai darjah pempolimeran yang sangat tinggi. Pada umumnya, ia dihasilkan dengan kaedah pemprosesan tekanan-rendah Ziegler. Hasil yang diperolehi adalah dalam bentuk serbuk. Perkataan polietilena berberat molekul tertinggi (UHMWPE) ini pada amnya memberi definasi kepada polietilena yang mempunyai berat molekul 3 juta atau lebih⁽¹⁾.

Antara sifat atau ciri UHMWPE yang nyata lebih baik dari polietilena yang lain adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.

Sifat	GM5010T2	1900
Berat Molekul	300,000	3-6 juta
Indek Pengaliran (190°C/5g)	0.5	< 0.01
Graviti Tentu (g/cm ³)	0.942	0.93
Kekuatan Regangan (psi)	4800	6000
Kekuatan hentaman (ft.lb/sq.in)	7	> 60

JADUAL 1. Sifat-sifat Polietilena Gred Sempritan (Hoechst) dan UHMWPE Gred 1900 (Himont)^(3,4)

Sifat ketahanan hentaman UHMWPE adalah nyata lebih baik jika dibandingkan dengan polietilena gred sempritan yang mempunyai berat molekul 300,000.

Jadual 2 pula menunjukkan perbandingan sifat-sifat antara termoplastik kejuruteraan yang lain. Modulus keanjalan poliamida 6 (PA 6) adalah jauh lebih tinggi dari UHMWPE dan PTFE. PTFE pula mempunyai sifat tahan pada suhu yang tinggi, dan dituruti oleh PA 6. Kebaikan UHMWPE lebih jelas ditunjukkan pada ketahanan haus dan ketahanan hentamannya.

Sifat	UHMWPE	PA 6	PTFE
Ketumpatan (g/cm ³)	0.93	1.1	2.2
E modulus (N/mm ²)	600	1400	400
Suhu maxima (°C)	100	140	250
Kekuatan Hentaman (mJ/mm ²)	160	10	19
Tahan Air	++	-	++
Tahan Haus (Lelas)	++	+	-
Tahan Kimia	+	+-	++
Sifat kelicinan permukaan	+	+	++

JADUAL 2. Plastik Kejuruteraan^(4,5)

PEMROSESAN UHMWPE

Sehingga sekarang, penggunaan UHMWPE dihalangi oleh kesulitan pemrosesannya dan juga ketiadaan atau kekurangan mesin pemroses UHMWPE ini. Sebagai contoh, untuk proses penyempitan UHMWPE, kaedah lazim menggunakan peralatan penyempitan skru yang umum tidak boleh digunakan. Untuk ini, kaedah penyempitan yang menggabungkan teknik penyempitan serbuk logam terpaksa digunakan⁽⁶⁾.

Kesukaran pemrosesan memang telah diduga kerana polimer ini tidak melebur sepenuhnya apabila dipanaskan. Kaedah acuan mampat adalah teknik pemrosesan UHMWPE yang paling lazim. Ia diikuti oleh penyempitan lantak yang banyak menghasilkan barangan profil dan rod dari UHMWPE. Pengacuan secara suntik dengan menggunakan alat penyuntik skru masih tidak dapat dilakukan. Sehingga sekarang, pengacuan suntik hanya dilakukan dengan alat penyuntik khas yang telah diubahsuai menjadi penyentak denyut⁽⁷⁾.

Acuan Mampatan

Pemrosesan UHMWPE dengan kaedah acuan mampatan ini secara umumnya mempunyai tiga peringkat: (1) mampatan pada suhu bilik dengan tekanan setinggi 100 bar untuk mengeluarkan udara dari serbuk polimer; (2) pemplastikan pada suhu 200°C dan tekanan 50 bar, dan (3) penyejukan kepingan plastik dibawah tekanan 100 bar⁽⁸⁾. Kaedah ini tidak termasuk dalam lingkungan penyelidikan yang sedang dijalankan di UTM.

Penyempitan Lantak (Ram Extruding)

Walaupun penyempitan lantak adalah pemrosesan yang lazim untuk PTFE, tetapi pemrosesan UHMWPE dengan menggunakan parameter-parameter yang sama gagal dilakukan. Sebagai contoh, untuk UHMWPE, suhu yang lebih rendah dan tekanan yang lebih tinggi adalah perlu. Ini akan menyebabkan rekabentuk sistem hidraulik dan selinder yang ketara berbeda. Secara umum, proses ini melibatkan penyempit hidraulik, di mana serbuk polimer akan dihentak denyut ke dalam selinder. Serbuk polimer akan mengalami proses pemplastikan di dalam selinder ini⁽⁹⁾. Bagi UHMWPE, yang pasti suhu selinder mestilah lebih tinggi dari suhu leburnya, iaitu 150°C. Hasilan yang boleh dikeluarkan dengan kaedah penyempitan lantak adalah sebagai contoh rod, profil dan kepingan plastik. Kebaikan kaedah ini dari kaedah mampatan ialah kepingan dan rod dapat dikeluarkan berterusan pada kepanjangan yang tidak terhad.

Dalam penyelidikan yang sedang dijalankan di UTM, parameter yang ditumpukan ialah profil suhu selinder dan pengisian selinder. Mesin penyempit lantak dengan sistem hidraulik sekurang-kurang 5 ton akan digunakan untuk kajian. Dua faktor ketara yang digunakan sebagai penunjuk kesesuaian parameter adalah kandungan bahan tidak-terplastik dan kualiti permukaan.

Pengacuan Suntik

Memandangkan kaedah acuan suntik adalah proses yang paling ekonomik untuk menghasilkan barangan dari plastik, banyak percubaan telah dijalankan oleh pengeluar dan pembina mesin penyuntik untuk menghasilkan barangan suntik dari UHMWPE. Sehingga sekarang, tiada satu pengeluar yang berani mengatakan mesin mereka mampu menghasilkan barangan suntik UHMWPE yang berkualiti tinggi.

Percubaan telah dijalankan oleh penyelidik di UTM dengan menggunakan 2 mesin penyuntik yang berbeda, Battenfeld dan Negri Bossi (dengan jasa baik University Loughborough). Dalam kaji selidik ini, acuan untuk menghasilkan sampel ujian regangan telah digunakan. Dalam percubaan ini, hasil suntikan yang diperolehi tidak memuaskan. Didapati pada kebanyakan hasil suntikan, degradasi yang sangat ketara, hasilan suntik yang tidak serata, dan kelompang-kelompang udara. Ini adalah fenomena yang biasa dilihat apabila proses pemplastikan bahan tidak sempurna. Kelikatan leburan UHMWPE yang sangat tinggi tidak membenarkan polimer melebur sepenuhnya.

Satu pengeluaran barangan plastik, Braas di Jerman, telah merekabentuk penyuntik UHMWPE yang menggabungkan mesin penyentak denyut hidraulik dan mesin suntik. Proses pemplastikan berlaku pada kadar lantak denyut 250 kali/minit dan tekanan setinggi 3,000 bar. Polimer yang terplastik ini dikumpul pada ruangan yang khas pada suhu yang tetap sementara menunggu proses penyuntikan ke dalam acuan. Akan tetapi mesin ini tidak boleh dibeli terus di pasaran⁽¹⁰⁾.

Di UTM, penyelidikan di buat untuk menghasilkan barangan UHMWPE dengan menggunakan mesin penyuntik skru yang lazim. Pengubahsuaian telah ditumpukan kepada keperluan sistem hidraulik yang tinggi dan skru yang mampu menghasilkan penghantaran yang seragam. Walaupun penyempit skru dianggap umum sebagai pam yang dapat membuat penghantaran yang seragam, tanggapan ini tidak benar jika ia melibatkan serbuk yang halus. Resin UHMWPE adalah serbuk yang halus dengan daya rekat yang rendah. Ini memerlukan rekabentuk skru yang sesuai.

Kesan suhu, kelajuan skru dan tekanan ke atas kualiti hasilan suntik dikaji. Sifat-sifat ketahanan hentaman dan kekuatan regangan digunakan sebagai pengukur kualiti hasilan. Sifat ketahanan las (haus) UHMWPE adalah juga penting untuk dijadikan pengukur kualiti hasilan suntik. Pengukuran sifat ini tidak dapat dilakukan memandangkan ketiadaan peralatan yang sesuai.

Dari kajian awal yang dijalankan dengan menggunakan 2 mesin di atas, secara umum, suhu di bawah 200°C menghasilkan hasilan yang rapuh (kelompang udara yang banyak). Pada suhu melebihi 250°C, terdapat kesan-kesan degradasi terma yang sangat ketara pada hasilan. Secara kasar, tekanan suntikan sekurang-kurangnya 1,000 bar diperlukan untuk memenuhi acuan. Pada semua percubaan, kelajuan skru dan suhu acuan telah ditetapkan pada 200 rpm dan 90°C. Kelajuan skru boleh mempengaruhi keseragaman penghantaran resin, manakala suhu acuan, sebagaimana di dalam pengacuan HDPE (polietilena berketumpatan tinggi), mempengaruhi kualiti permukaan.

Pada keseluruhannya, kekuatan hentaman hasilan suntik jauh lebih rendah, <130 mJ/mm², berbanding dengan 160 mJ/mm² yang boleh diperolehi dari hasilan acuan mampat. Adalah menarik jika kesan ke atas ketahanan las dapat diketahui.

KESIMPULAN

Polietilena dengan berat molekul lebih dari 3 juta adalah termoplastik kejuruteraan yang mempunyai daya tahan hentaman yang sangat tinggi, ketahanan kimia yang baik dan ketahanan las yang tinggi berbanding dengan polietilena yang lain dan termoplastik kejuruteraan seperti poliamida 6 (Nylon 6) dan PTFE (Teflon).

Dari hasil kasar kajian awal ini, boleh disimpulkan bahawa pemprosesan UHMWPE dengan menggunakan mesin penyuntik skru lazim adalah tidak mustahil. Dengan sedikit modifikasi dari segi bahan, seperti dengan penambahan antioksidan, dan penambahan keupayaan sistem hidraulik mesin, hasilan suntik UHMWPE akan dikeluarkan dengan jayanya.

RUJUKAN

1. HIMONT Technical Literature Bulletin No. HPE-101A
2. HIMONT Technical Literature Bulletin No. 500-667F
3. Hoechst Technical Information, "A Guide to Polymers from Hoechst Celanese Plastics"
4. HIMONT Technical Literature Bulletin No. 529-1
5. Guide to Plastics, MCGraw-Hill, Inc. 1981
6. James, P.J., *Manufacturing Engineer*, October 1989, p.40
7. Shenoy, A.V. and Saini, D.R., *Plast. Rubb. Proc. Appl.*, 5 (4), 1985 p 313
8. HIMONT Technical Literature Bulletin No. HPE-102
9. Raowendaal, C., *Polymer Extrusion*, Hanser Publisher, 1986 p. 41
10. Berzen, J. and Braun, G., *Kunststoffe*, 69, 1979 p. 62